

Популярно о высокочастотном заземлении

По этой теме в радиоловительской литературе и интернете имеется достаточно информации, зачем снова к ней возвращаться? Дело в том, что в век интернета молодые люди отвыкли читать книги, ходить в библиотеки. Кажется, все можно по-быстрому найти в Википедии. Но, увы! Попытка поиска в русскоязычных поисковиках что-нибудь про ВЧ заземлении выдала кучу источников, почти все из которых относились к электротехническим и грозозащитным заземлениям. Поиск «RF ground» был гораздо успешнее, нашлось много статей на английском и даже солидная книга *Essentials of RF and Microwave Grounding*, посвященная теории вопроса. А в многочисленных форумах, особенно русскоязычных, на читателя обрушивается такой вал совершенно ложной информации по этому вопросу, что становится ясно, что в головах многих радиоловителей царит полная путаница.

Сразу оговоримся, что мы не будем говорить об электротехническом и грозозащитном заземлениях, ограничимся только рассмотрением высокочастотного заземления, необходимого для нормальной работы радиоаппаратуры.

Наиболее толково и понятно этот вопрос изложен в книге Гончаренко «Антенны КВ и УКВ» часть третья, в разделе 4.1.7.1 (стр. 38-43). Если вы имеете возможность и терпение его прочитать, дальше эту статью читать не обязательно. Для тех, кто такой возможности не имеет, попробуем изложить главное.

1. Когда ВЧ заземление необходимо?

Оказывается, довольно редко: оно нужно только при использовании несимметричных антенн, таких как GP, LW (длинный провод), Windom и питаемые с конца диполи. Т.е. антенн, для которых необходим пресловутый «противовес» или приемник тока. Если вы используете симметричные антенны, о ВЧ заземлении вам можно не заботиться (не забывайте только об электротехническом заземлении аппаратуры).

2. Что будет, если ВЧ заземление необходимо, но его нет или оно плохое?

Поскольку несимметричная антенна (например, длинный провод) к трансиверу подключена, противовесом ей вынужден служить корпус трансивера и все провода, к нему подключенные (рис. 1). При работе на передачу на корпусе неминуемо будет ВЧ напряжение, иногда очень солидное, микрофон и ключ будут «кусаться», компьютеры будут зависать, телефоны и прочая радиотехника в доме будет «разговаривать» вашим голосом, а ваш сигнал в эфире будет искаженным из-за ВЧ наводки на микрофонный провод. К тому же трансивер будет «видеть» плохое согласование и будет снижать выходную мощность, защищая выходные транзисторы. Сопротивление потерь такого противовеса обычно велико и в эфир будет излучаться малая часть мощности передатчика, большая пойдет на нагрев сопротивления потерь противовеса.

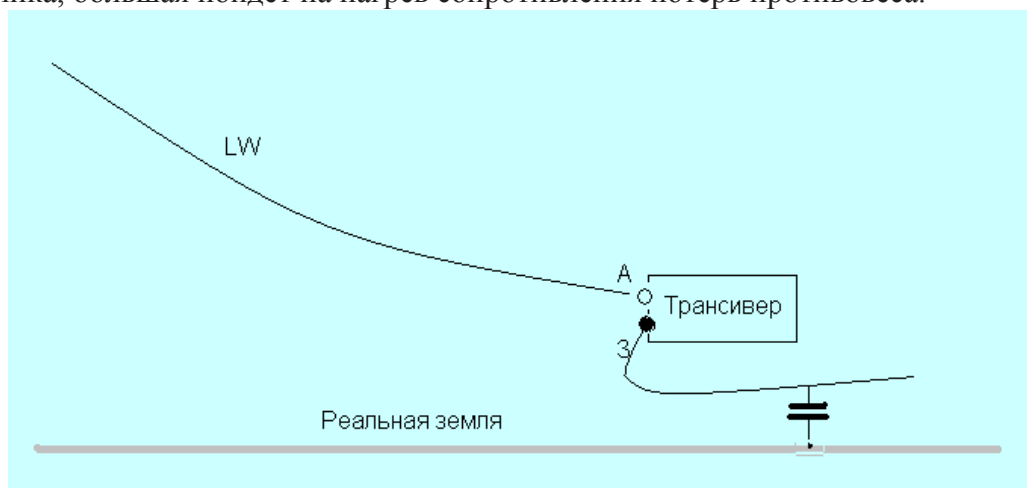


Рис1. Антенна LW с плохим ВЧ заземлением.

Вышесказанное поясняет рис.2.

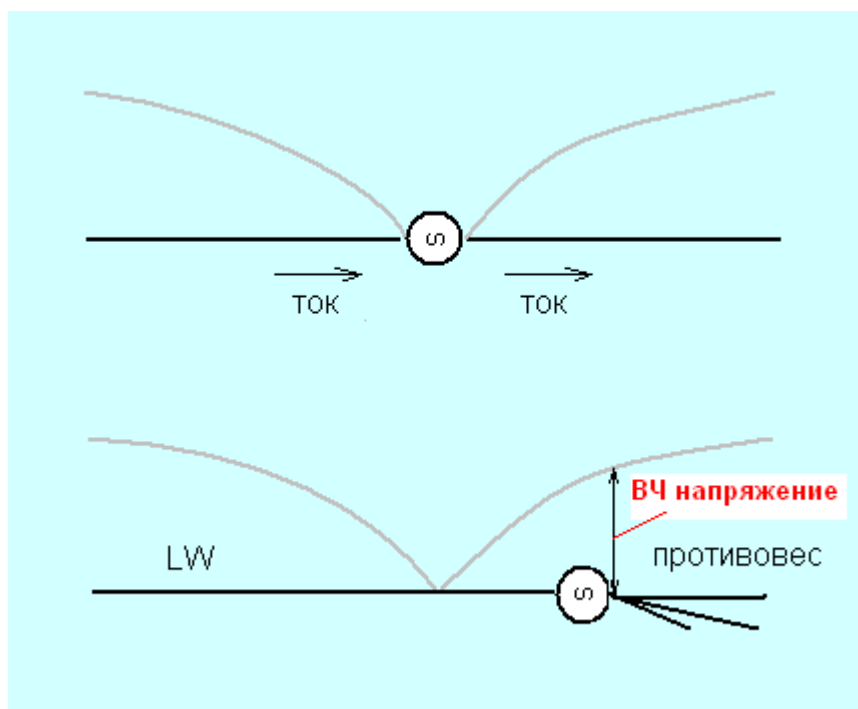


Рис.2. Эпюры напряжения на симметричной и несимметричной антеннах.

Генератор сигнала (трансивер) при симметричной антенне находится в нуле напряжения, при плохом ВЧ заземлении симметрия нарушена и на трансивере присутствует значительное ВЧ напряжение.

3. Какое ВЧ заземление считается хорошим?

Которое принимает весь ВЧ ток, отдаваемый передатчиком. Тогда цепь антенны будет замкнута, она излучает максимальную мощность, а на корпусе передатчика ВЧ напряжение равно нулю. А как же его можно обеспечить? Далее приводим фрагменты из книги Гончаренко И.В.

«В антенной технике заземление должно принимать токи на рабочей частоте антенны и при этом само не излучать (иначе это будет уже не заземление, а излучающая часть антенны)... Идеальным заземлением для токов любой частоты является поверхность идеальной земли. Туда может без потерь втечь ток любой частоты. ... Но идеальная земля хороша в теории. На практике приходится обходиться реальной землей. Для обеспечения контакта с ней провод заземления (или систему проводов) закапывают.»

Как обычно мы привыкли делать электротехническое заземление? Забиваем металлический штырь поглубже, ближе к водоносным слоям, или несколько штырей, соединяя их проводом. К сожалению, такое заземление не обязательно является хорошим ВЧ заземлением. ВЧ токи должны растекаться без больших потерь вдоль поверхности земли, поскольку ВЧ токи не проникают глубоко в почву. «Для ВЧ заземления систему заземляющих проводов закапывают либо неглубоко, либо располагают прямо на поверхности земли». Глубина, при которой система проводов эффективна, зависит от частоты и проводимости почвы. В среднем, для частоты 1,8 МГц можно зарыть провода на глубину до 1 м, для 28 МГц – не глубже 10 см. Для того, чтобы такой токоприемник хорошо работал на всех диапазонах, длина проводов – радиалов должна быть 5-10 м, число их – не менее 6-8 и, кроме того, они должны быть соединены между собой на концах и в середине их длины.

Как видим, классическое ВЧ заземление мало доступно для большинства радиолюбителей, как по потребной площади, так и по стоимости сооружения. Для

городских жителей – оно вообще недоступно. Значит, остается использовать то заземление, какое имеем, но постараться получить от него максимум эффекта.

Очень хорошим ВЧ токоприемником может служить система из двух (если возможно, четырех) проводов длиной в четверть длины волны, растянутых над землей на высоте 2-3 м в противоположных направлениях от точки заземления аппаратуры (рис.3).

Поскольку токи в таких резонансных радиалах противоположны, излучение их взаимно компенсируется, потери в них малы (земля удалена) и эффективность антенны с таким противовесом максимальна. (Считаем пока, что длина провода от трансивера до точки заземления близка к нулю). Одна беда: очень узкая рабочая полоса. Такое ВЧ заземление в лучшем случае работает в одном КВ диапазоне! Как говорил Лис из «Маленького Принца»: «Нет в мире совершенства!»

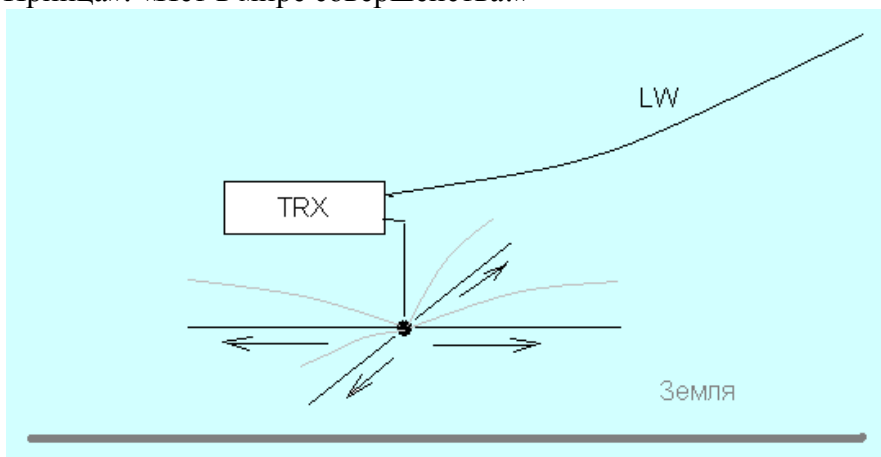


Рис.3. Резонансное ВЧ заземление в виде приподнятых радиалов.

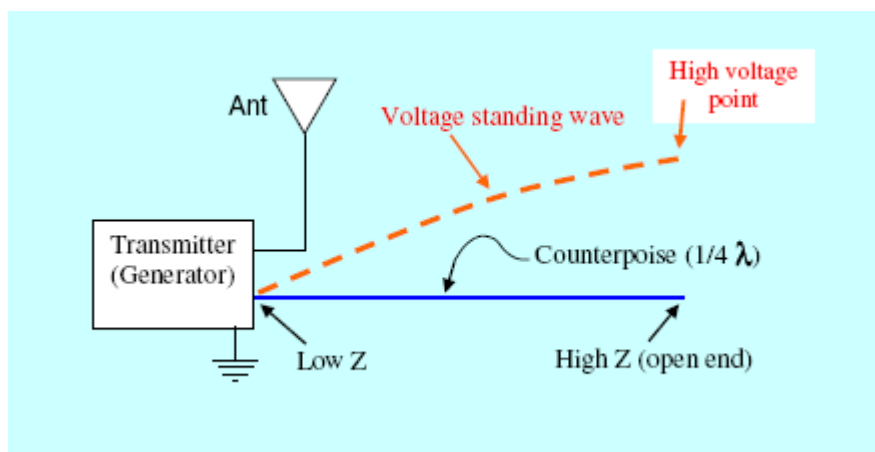


Рис.4. Резонансный противовес.

На рис.4 – вариант резонансного противовеса. Он, конечно, излучает, но нулевой ВЧ потенциал обеспечивает.

Для многодиапазонной работы придется иметь несколько резонансных противовесов (рис.5). Рубильник, показанный на рис.5, соединяет аппаратуру с землей в нерабочем положении.

Таким же образом работают искусственные ВЧ заземления, в которых провод произвольной длины настраивается в резонанс переменными индуктивностями и конденсаторами.

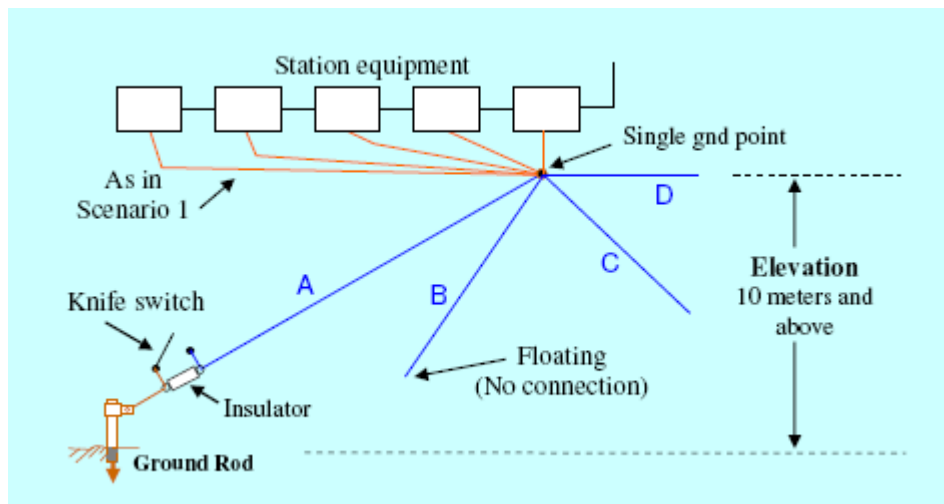


Рис.5. Многодиапазонный резонансный противовес.

Итак, оставив мечты об идеале, решаем использовать то заземление, которое нам доступно: стальная труба, забитая в землю под окном на глубину, как получится, металлическое ограждение балкона многоэтажного дома, труба скважины колодца, лист железа, закопанный в землю, и т. п.

Не претендуя на высокую эффективность такого ВЧ заземления, поставим цель хотя бы избавиться от ВЧ напряжения на корпусах трансивера и усилителя, что тоже немаловажно. Если провод заземления имеет длину 1 м, проблем не возникает. А если приходится тянуть провод с третьего (или тринадцатого) этажа, это уже создает проблемы. Провод представляет собой однопроводную линию с волновым сопротивлением от 300 до 600 Ом (в зависимости от того, как он проложен) и коэффициентом укорочения близким к единице. Если длина провода близка к целому числу полуволн в рабочем диапазоне, ВЧ заземление работает хорошо. А если длина провода близка к нечетному числу четвертей длины волны, его входное сопротивление на ВЧ очень велико и заземление не работает (рис.6).

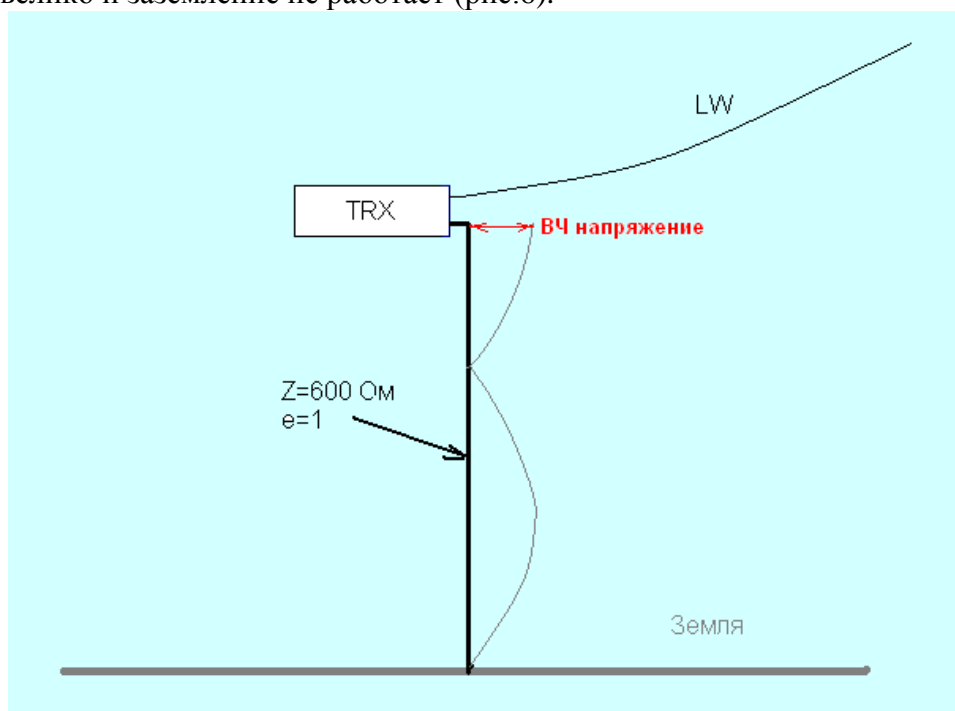


Рис.6. Линия, длина которой равна нечетному числу четвертей длины волны, имеет высокое входное сопротивление.

Например: при длине провода 30 м в диапазоне 160 м заземление будет работать плохо, на 80 м – плоховато, на 40 м – совсем плохо, на 20 м – хорошо, на 17 м – очень плохо, на 15 м – хорошо, на 12 м – очень плохо, на 10 м – хорошо. Здесь цифры взяты приблизительно, для иллюстрации. Изменение длины провода приведет к тому, что на некоторых диапазонах ситуация может улучшиться, а на остальных – ухудшиться. Неутешительный вывод: если провод до точки заземления имеет длину более 2-3 метров, он не может обеспечить ВЧ заземление аппаратуры на всех любительских диапазонах. При этом, чем длиннее провод, тем более узкополосными становятся участки частот, в которых заземление работает.

К счастью, проблема длинного провода заземления была решена американским радиолюбителем William Chesney/N8SA (см. <http://www.hamuniverse.com/grounding.html>), который опубликовал свою статью в 2003 г. Он предложил использовать в качестве провода заземления длинный коаксиальный кабель (рис.7). Приводим его схему в оригинале, хотя, по нашему мнению, конденсатор, замыкающий вход кабеля, делает схему неработоспособной на верхних диапазонах. Однако его идея работоспособна при выполнении схемы в соответствии с рис.8. В качестве проводов заземления используется одиночный провод любой длины и коаксиальный кабель такой же длины, включенные параллельно в соответствии с рис.8. **Верхний конец кабеля не замкнут!**

Поскольку однопроводная линия имеет коэффициент укорочения близкий к 1, а коаксиальный кабель, заполненный диэлектриком, - около 1,5, частоты, на которых они имеют низкий входной импеданс, отличаются: там, где одна линия имеет высокий импеданс, другая имеет низкий. Расчет показывает, что такая схема прекрасно работает на **ВСЕХ** любительских диапазонах при **любой** длине линий.

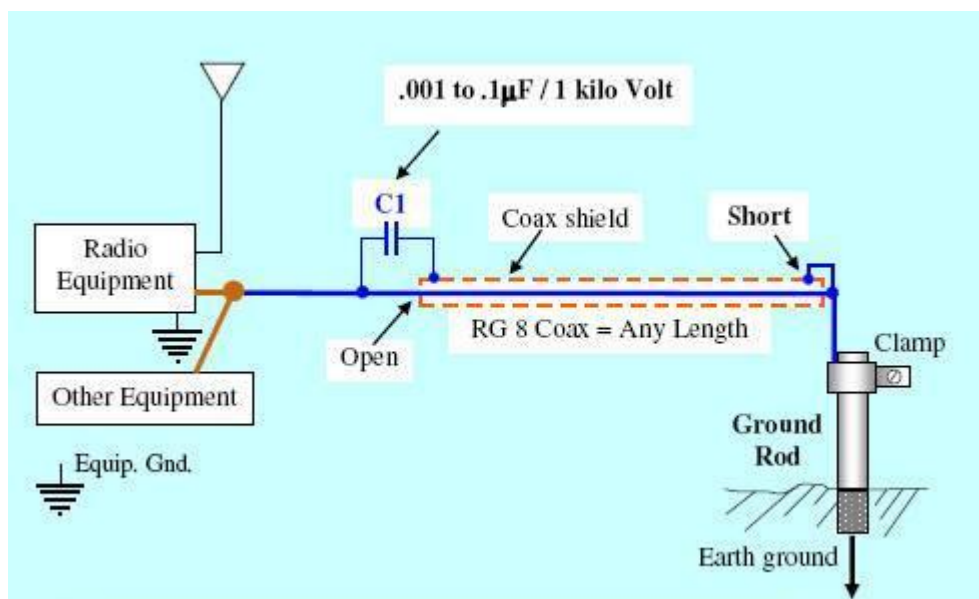


Рис.7. Схема заземления, предложенная N8SA.

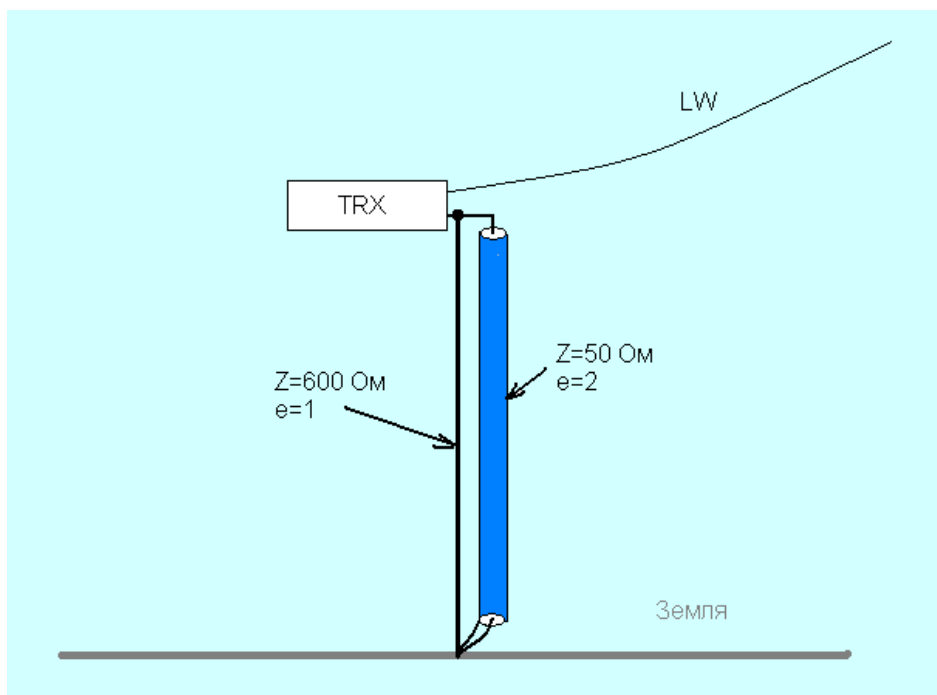


Рис.8. Вариант схемы заземления N8SA.

И, в заключение, необходимо отметить, что, если к несимметричным проволочным антеннам трансивер подключается через согласующее-симметрирующее устройство, точкой ВЧ заземления будет выходная клемма этого устройства. Трансивер к согласующему устройству при этом подключается коаксиальным кабелем. Кстати, хорошее симметрирующее устройство, установленное на выходе трансивера, уравнивает токи в плечах несимметричных антенн и тоже способно снизить ВЧ напряжения на корпусе трансивера, как при работе на симметричные антенны.

Владислав Щербаков, RU3ARJ